



221

GP/2811

Practitioner's ~~Packet~~ Office: 782_197

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the application of: Yuji HORI, Tomohiko SHIBATA, Mitsuhiro TANAKA and
Osamu ODA

Ser. No.: 09/994,370

Group Art Unit: 2811

Filed: November 27, 2001

Examiner: Not Assigned

Conf. No.: 7276

For: A SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT

5/Priority
Paper
Mailing
6-17-02

Assistant Commissioner for Patents
Washington, DC 20231

I hereby certify that this correspondence is being deposited
with the United States Postal Service as first class mail
addressed to Assistant Commissioner for Patents,
Washington D.C. 20231 on June 3, 2002.

Tara L. Preston
Tara L. Preston

SUBMISSION OF CERTIFIED COPIES OF PRIORITY DOCUMENTS

Sir:

The benefit of the filing dates of the following prior foreign applications filed in the
following foreign country was requested by applicants on November 27, 2001 for the
above-identified application:

| <u>Country</u> | <u>Application Number</u> | <u>Filing Date</u> |
|----------------|---------------------------|--------------------|
| Japan | 2000-364,268 | November 30, 2000 |
| Japan | 2001-321,052 | October 18, 2001 |

RECEIVED
JUN 11 2002
TC 2600 MAIL ROOM

In support of this claim, certified copies of the Japanese Applications are enclosed
herewith.

Respectfully submitted,

June 3, 2002

Date

Stephen P. Burr
Reg. No. 32,910

SPB/tlp

BURR & BROWN
P.O. Box 7068
Syracuse, NY 13261-7068

Customer No.: 25191
Telephone: (315) 233-8300
Facsimile: (315) 233-8320



09/994370

RECEIVED

JUN 11 2002

TC 2800 MAIL ROOM

This is to certify that the annexed is a true copy
of the following application as filed with this Office.

Date of Application : November 30, 2000

Application Number : Japanese Patent Application
No. 2000-364268

[ST. 10/C] : [JP2000-364268]

Applicant(s) : NGK INSULATORS, LTD.

Certified on April 5, 2002

Commissioner,

Japan Patent Office

Kozo OIKAWA (Sealed)

Certification No. 2002-3024689

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年11月30日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-364268

[ST.10/C]:

[JP2000-364268]

出 願 人

Applicant(s):

日本碍子株式会社

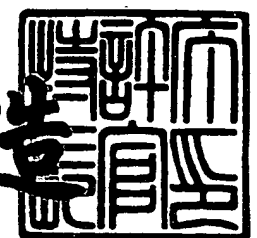
CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

RECEIVED
JUN 11 2002
TC 2800 MAIL ROOM

2002年 4月 5日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2002-3024689

【書類名】 特許願

【整理番号】 00P00574

【提出日】 平成12年11月30日

【あて先】 特許庁長官 及川 耕造 殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明の名称】 半導体発光素子

【請求項の数】 16

【発明者】

 【住所又は居所】 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内

 【氏名】 堀 裕二

【発明者】

 【住所又は居所】 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内

 【氏名】 柴田 智彦

【発明者】

 【住所又は居所】 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内

 【氏名】 田中 光浩

【発明者】

 【住所又は居所】 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内

 【氏名】 小田 修

【特許出願人】

 【識別番号】 000004064

 【氏名又は名称】 日本碍子株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100072051

 【弁理士】

【氏名又は名称】 杉村 興作

【選任した代理人】

【識別番号】 100059258

【弁理士】

【氏名又は名称】 杉村 暁秀

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 074997

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9703804

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体発光素子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板と、この基板上に A l を含む、X 線ロッキングカーブにおける半値幅が 9 0 秒以下の第 1 の窒化物半導体からなる下地層と、この下地層上に形成された A l、G a、及び I n の少なくとも一つを含む第 2 の窒化物半導体からなる第 1 の導電層と、この第 1 の導電層上に形成された A l、G a、及び I n の少なくとも一つを含む第 3 の窒化物半導体からなる第 1 のクラッド層と、この第 1 のクラッド層上に形成された、A l、G a、及び I n の少なくとも一つを含む第 4 の窒化物半導体からなる基層中に、A l、G a、及び I n の少なくとも一つを含み、前記第 3 の窒化物半導体よりも面格子定数の大きい第 5 の窒化物半導体からなる、それぞれが孤立した複数の島状結晶を含んでなる発光層と、この発光層上に形成された A l、G a、及び I n の少なくとも一つを含む第 6 の窒化物半導体からなる第 2 のクラッド層と、この第 2 のクラッド層上に形成された A l、G a、及び I n の少なくとも一つを含む第 7 の窒化物半導体からなる第 2 の導電層とを具え、

前記第 1 のクラッド層を構成する前記第 3 の窒化物半導体のバンドギャップ、前記基層を構成する前記第 4 の窒化物半導体のバンドギャップ、及び前記島状結晶を構成する前記第 5 の窒化物半導体のバンドギャップが、この順に大きいことを特徴とする、半導体発光素子。

【請求項 2】 前記下地層を構成する前記第 1 の窒化物半導体における A l 含有量が、5 0 原子%以上であることを特徴とする、請求項 1 に記載の半導体発光素子。

【請求項 3】 前記下地層を構成する前記第 1 の窒化物半導体は、A l N であることを特徴とする、請求項 2 に記載の半導体発光素子。

【請求項 4】 前記第 1 の導電層を構成する前記第 2 の窒化物半導体は、少なくとも A l を含むことを特徴とする、請求項 1 ～ 3 のいずれか一に記載の半導体発光素子。

【請求項 5】 前記第 1 の導電層を構成する前記第 2 の窒化物半導体における A l

含有量が、50原子%以上であることを特徴とする、請求項4に記載の半導体発光素子。

【請求項6】前記第1の導電層を構成する前記第2の窒化物半導体は、AlNであることを特徴とする、請求項5に記載の半導体発光素子。

【請求項7】前記下地層を構成する前記第1の窒化物半導体は、MOCVD法により1100℃以上の温度で形成されたことを特徴とする、請求項1～6のいずれか一に記載の半導体発光素子。

【請求項8】前記下地層を構成する前記第1の窒化物半導体は、MOCVD法により1100℃～1250℃の温度で形成されたことを特徴とする、請求項7に記載の半導体発光素子。

【請求項9】前記第1のクラッド層を構成する前記第3の窒化物半導体の面内格子定数と、前記島状結晶を構成する前記第5の窒化物半導体の面内格子定数との差が、前記第3の窒化物半導体の面内格子定数を基準として、0.4～1.4%であることを特徴とする、請求項1～8のいずれか一に記載の半導体発光素子。

【請求項10】前記複数の島状結晶の大きさが一定の広がりを持って分布し、前記発光層全体として任意の色度の光を生成することを特徴とする、請求項1～9のいずれか一に記載の半導体発光素子。

【請求項11】前記複数の島状結晶の底面の直径が5nm～30nmで分布し、前記複数の島状結晶のそれぞれが任意波長の光を発光し、前記発光層全体として白色光を生成することを特徴とする、請求項10に記載の半導体発光素子。

【請求項12】前記複数の島状結晶は、前記発光層を構成する前記基層中において複数の段状に分布するとともに、前記複数の島状結晶の大きさが一定の広がりを持って分布し、前記発光層全体として任意の色度の光を生成することを特徴とする、請求項1～9のいずれか一に記載の半導体発光素子。

【請求項13】前記発光層を構成する前記基層中の、前記複数の段のそれぞれに位置する前記複数の島状結晶の平均の大きさが、前記複数の段間において一定の広がりを持って分布していることを特徴とする、請求項12に記載の半導体発光素子。

【請求項14】前記発光層を構成する前記基層中の、前記複数の段のそれぞれに

位置する前記複数の島状結晶の底面における平均直径が、前記複数の段間において5nm～30nmで分布しており、前記複数の段のそれぞれに位置する前記複数の島状結晶毎に任意波長の光を発し、前記発光層全体として白色光を生成することを特徴とする、請求項13に記載の半導体発光素子。

【請求項15】前記発光層を構成する前記基層中の、前記複数の段のそれぞれに位置する前記複数の島状結晶の大きさが、前記複数の段のそれぞれにおいて一定の広がりを持って分布していることを特徴とする、請求項12に記載の半導体発光素子。

【請求項16】前記下地層を構成する前記第1の窒化物半導体中のAl含有量が、前記基板側から前記第1の導電層に向かって連続的又はステップ状に減少していることを特徴とする、請求項1～15のいずれか一に記載の半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体発光素子に関し、詳しくは白色発光ダイオードなどとして好適に用いることのできる半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、様々な色の発光ダイオード(LED)の需要が増大している。LEDは消費電力が少なく、寿命も長いため、これまでのような単なる表示用のLEDとしてだけではなく、消費電力の低減、エネルギー消費削減に伴うCO₂削減の観点から、照明用としてその需要増加が期待されている。

【0003】LEDとしては、これまで、GaAs系、AlGaAs系、GaP系、GaAsP系、InGaAlP系などで、赤色から黄緑色までのLEDが実用化され、特に表示用として様々な用途に用いられてきた。近年、GaN系において青色、緑色のLEDが実現されたことから、LEDでほぼ全色がでそい、全ての色で表示ができるようになった他、フルカラーディスプレイも実現できるようになった。また、RGBを用いた白色LEDや、青色LEDの上に黄色の蛍光体をまぶし、二色をもとにした白色LEDが実用化されるにいたり、LEDによる照明が実現されつつある。

【0004】しかし、RGBを用いた白色LEDはそれぞれ異なるLEDチップ

を用い、コスト高となるため、照明用として実用化するのは困難と見られている。また、二色白色LEDは、三原色でないため、この白色光のもとでは、フルカラーが認識できないという問題点がある。また、その輝度についてもまだ251 m/W程度しか実現されておらず、蛍光灯の901 m/Wには及んでいない。

【0005】以上のことから、三原色でより高効率のLEDが、低エネルギーで環境問題が解決できる照明用として、全世界で渴望されている。実際、このような白色照明用のLEDを実現するために、日本におけるナショプロだけではなく、米国、欧州でも多くの大手電気メーカーが積極的に開発に乗り出しているところである。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】三原色以上の白色LEDを作製するためには、紫外LEDを作製して、この紫外線により三原色の蛍光体を発光させて白色LEDを得る試みがなされている。しかし、この方法は、その原理は蛍光灯と基本的には同じであり、蛍光灯における水銀放電による紫外発光を紫外LEDに置き換えるものである。このため、三原色の蛍光体を別途必要とする点から、コスト的なデメリットがある。また、GaN系では青色LEDができているが、紫外LEDのように短波長化すると、青色LEDに比べて発光効率が激減するという問題がある。

【0007】この発光効率の激減については、以下のように考えられている。GaN系のエピタキシャル膜をサファイアなど格子定数が一致しない基板上に成長させると、エピタキシャル膜と基板の界面にミスフィット転位が発生し、これがエピタキシャル膜中、さらにはその上に形成された発光層中に伝播するために、転位密度が著しく増大する。

【0008】しかしながら、サファイア基板上に作製したGaN系の青色、緑色の発光ダイオードでは、発光層として用いるInGaN系のエピタキシャル層の中で、Inが局在化し、そのためにキャリアが局在化して閉じ込められる。このため、転位が存在する位置までキャリアが移動することなく再結合するため、十分な発光効率が得られる。

【0009】すなわち、転位の存在が発光効率に影響しないのではなく、Inの

局在化に伴いキャリアが局在化され、非発光中心として作用する転位の位置までキャリアが移動する前にキャリアが再結合して発光するため、上記GaN系の青色、緑色の発光ダイオードでは十分な発光効率を得ることができるものである。

【0010】しかしながら、紫外LEDを作製するためには、発光層中のInの濃度を低減させることが要求される。このため、Inの局在化が起こらなくなるため、キャリアの拡散長が長くなり、転位が存在する位置までキャリアが移動するため再結合しやすくなる。したがって、もともと高転位密度である青色LEDよりも、紫外LEDでは発光効率が大幅に低減される。このため、転位密度の低減を図るべく各種の方法が考案されている。

【0011】例えば、エピタキシャル成長の途中で、SiO₂などのストライプのマスクを作製して、エピタキシャル膜／基板界面で発生したミスフィット転位がエピタキシャル膜上に伝播することを防止し、これによって前記マスク上に転位密度が低減された発光層を形成する方法が提案されている。しかしながら、この方法は、プロセスが複雑であり、製造コストが高くなるほか、厚いGaN系膜を成長させるため、基板が反ってしまい、実際、デバイスプロセスに使用すると大半の基板が割れてしまうという決定的な問題点があり、実用化を妨げている。

【0012】また、転位密度を低減させるために、GaN系の格子整合エピタキシャル成長ができるように、バルクのGaN結晶を成長させる試みがなされている。このような方法としては、高圧溶液成長法、気相成長法、フラックス法などがある。しかし、現在のところ、LEDを工業的に製造できるような大型単結晶の育成にはまだ目処はたっていない。

【0013】さらに、転位密度が低いバルクのGaN結晶を得るために、HVPE法を用いて、格子整合する酸化物などの基板上に厚いGaN単結晶を成長させ、その後、もとの基板を除去して、バルクGaN単結晶基板を得る試みもなされているが、未だLEDを工業的に製造できるような高品質の単結晶基板は得られるようになっていない。

【0014】このような状況であるため、紫外LEDを用いて蛍光体を光らせて作る三原色以上の白色LEDについては、高い発光効率を得られる技術的見通しがないという問題がある。

【0015】本発明は、転位密度の大小に関係なく、任意の色度の光を発することのできるLED、特に白色LEDとして好適に使用することが可能な、新規な半導体発光素子を提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成すべく、本発明の半導体発光素子は、基板と、この基板上にAlを含む、X線ロックアップカーブにおける半値幅が90秒以下の第1の窒化物半導体からなる下地層と、この下地層上に形成されたAl、Ga、及びInの少なくとも一つを含む第2の窒化物半導体からなる第1の導電層と、この第1の導電層上に形成されたAl、Ga、及びInの少なくとも一つを含む第3の窒化物半導体からなる第1のクラッド層と、この第1のクラッド層上に形成された、Al、Ga、及びInの少なくとも一つを含む第4の窒化物半導体からなる基層中に、Al、Ga、及びInの少なくとも一つを含み、前記第3の窒化物半導体よりも面格子定数の大きい第5の窒化物半導体からなる、それぞれが孤立した複数の島状結晶を含んでなる発光層と、この発光層上に形成されたAl、Ga、及びInの少なくとも一つを含む第6の窒化物半導体からなる第2のクラッド層と、この第2のクラッド層上に形成されたAl、Ga、及びInの少なくとも一つを含む第7の窒化物半導体からなる第2の導電層とを具える。そして、前記第1のクラッド層を構成する前記第3の窒化物半導体のバンドギャップ、前記基層を構成する前記第4の窒化物半導体のバンドギャップ、及び前記島状結晶を構成する前記第5の窒化物半導体のバンドギャップが、この順に大きいことを特徴とする。

【0017】この際、第1のクラッド層に導電層としての機能を付与せしめ、第1の導電層を省略することもできる。同様に、第2のクラッド層の導電層としての機能を付与せしめ、第2の導電層を省略することもできる。

【0018】近年においては、発光層として、格子不整合する系で孤立した小さい島状結晶を形成させ、これを発光させてなるLEDについて研究が盛んになされている。そして、この島状結晶の大きさに所定の分布を持たせることによって、島状結晶のそれぞれから任意波長の光を発光させ、これを合成することによって前記発光層全体として任意の色度の光又は白色光を生成することが考えられて

いる。

【0019】しかしながら、発光層に対する下地層の低結晶性に依存して、孤立した小さい島状結晶を作製しても、下地層に存在する転位が島状結晶中にも伝播してしまう。このため発光層の結晶性が劣化して発光効率が減少するため、上述したような半導体発光素子は実現されるには至っていない。

【0020】そこで本発明者らは、発光層を構成する島状結晶の結晶性を改善すべく鋭意検討を実施した。そして、前記発光層の結晶性に影響を与える下地層の結晶性を改善することを試みた。

【0021】従来、半導体発光素子の下地層はバッファ層としての役割が重視されていたため、前記下地層の結晶性については重視されていなかった。さらに、前記バッファ層としての効果を十分に発揮するには、ある程度結晶性の劣化した下地層が望まれていた。

【0022】これに対して本発明者らは、A1を含む窒化物半導体を構成材料とする半導体発光素子においては、上記下地層の結晶性をある程度高くしても、そのバッファ層としての作用が失われないことを見出した。すなわち、従来の常識に反して、前記下地層の結晶性をある程度向上させても、バッファ層としての効果が失われないことを見出した。

【0023】したがって、上述したように、本発明の半導体発光素子におけるA1を含む下地層の結晶性をX線ロックアップカーブにおける半値幅で90秒以下に高めることによって、上記バッファ層としての機能を失うことなく、前記発光層を構成する前記島状結晶の結晶性を高めることができることを見出したものである。

【0024】なお、本発明においては、クラッド層を構成する第3の窒化物半導体の面内格子定数に対して、島状結晶を構成する第5の窒化物半導体の面内格子定数が大きくなるようにしている。このように圧縮応力の働く条件下では、窒化物半導体がドット状に形成されて、上記のような島状結晶が形成されるものである。

【0025】このため、本発明の半導体発光素子によれば、前記島状結晶のそれぞれの大きさを適宜に調節することにより、各島状結晶から任意波長の光を発光

させることができ、これによって発光層全体として実用に足る効率で任意の色度の光あるいは白色光を生成及び発光させることができるものである。

【0026】したがって、MOCVD法においては、温度、V族供給原料／III族供給原料比、圧力の少なくとも1つを制御することにより、前記複数の島状結晶それぞれの大きさを任意に制御できるものである。

【0027】また、前記第1のクラッド層を構成する前記第3の窒化物半導体のバンドギャップ、前記基層を構成する前記第4の窒化物半導体のバンドギャップ、及び前記島状結晶を構成する前記第5の窒化物半導体のバンドギャップの大きさに対する上記順列は、前記島状結晶を構成する前記第5の窒化物半導体をエネルギー的に閉じ込めて、前記島状結晶からの発光を実現させるために要求されるものである。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、本発明を発明の実施の形態に即して詳細に説明する。

図1は、本発明の半導体発光素子の一例を示す断面図である。

図1に示す半導体発光素子20は、基板1と、この基板1上に第1の窒化物半導体としてAlNからなる下地層2と、この下地層2上に形成された第2の窒化物半導体として $n\text{-AlGaIn}$ からなる第1の導電層3とを含む。さらに、この第1の導電層3上に形成された第3の窒化物半導体として $n\text{-AlGaIn}$ からなる第1のクラッド層4と、このクラッド層4上に形成された発光層5と、この発光層5上に形成された第6の窒化物半導体として $p\text{-AlGaIn}$ からなる第2のクラッド層6とを含む。また、この第2のクラッド層6上に形成された第7の窒化物半導体として $p\text{-GaIn}$ からなる第2の導電層7を具えている。

【0029】第1の導電層3の一部は露出しており、この露出した表面にはAl/Ptなる構成の n -電極8が形成されている。また、第2の導電層7上にはAu/Niなる構成の p -電極9が形成されている。

【0030】図2は、図1に示す半導体発光素子20における発光層5の部分を拡大して示す図である。図2から明らかなように、発光層5は、第4の窒化物半導体として $i\text{-GaIn}$ からなる基層17中に、第5の窒化物半導体として $i\text{-Al}$

1 GaInNからなる島状結晶12-1～12-5が形成されている。

【0031】なお、図1及び2においては、本発明の特徴を明確に説明すべく、各構成部分については実際のものとは異なるように記載している。

【0032】図1に示す半導体発光素子20における下地層2は、本発明にしたがってX線ロックアップカーブにおける半値幅が90秒以下であることが必要であり、さらには50秒以下であることが好ましい。これによって、発光層5を構成する島状結晶12-1～12-5中の転位密度が減少して良好な結晶性を有するようになるため、半導体発光素子20の発光効率が増大する。

【0033】また、下地層2におけるX線ロックアップカーブの半値幅の下限については特に限定されるものではないが、下地層2のバッファ層としての役割を考慮すると10秒であることが好ましい。

【0034】このようにAlを含んだ結晶性の高い下地層を得るには、所定の原料供給ガスを用い、MOCVD法によって好ましくは下地基板を1100℃以上、さらに好ましくは1150℃以上に加熱することによって形成する。従来の半導体発光素子における下地層の形成温度は500～700℃であり、この形成温度と比較して上記形成温度が極めて高いことが分かる。すなわち、MOCVD法において従来と全く異なる条件を採用することによって、本発明の条件を満足する結晶性に優れた下地層を形成することができる。

【0035】また、下地層の形成温度の上限については特に限定されるものではないが、好ましくは1250℃である。これによって、下地層を構成する窒化物半導体の材料組成などに依存した表面の荒れ、さらには下地層内における組成成分の拡散を効果的に抑制することができる。これによって、前記下地層を構成する窒化物半導体の材料組成によらずに、前記下地層の結晶性を良好な状態に保持することが可能となるとともに、表面の荒れに起因する発光層の結晶性の劣化を効果的に防止することができる。

【0036】また、本発明の半導体発光素子においては、上述したように、第1のクラッド層4を構成する第3の窒化物半導体の面内格子定数に対して、島状結晶12を構成する第5の窒化物半導体の面内格子定数が大きいことが必要である。具体的には、これらの面内格子定数差が、第1の窒化物半導体の格子定数を基

準として0.4～14%であることが好ましく、さらには2～8%であることが好ましい。これによって、通常のMOCVD法によって簡易に島状結晶を形成することができる。

【0037】 上述したように、本発明の半導体発光素子20においては、例えば、発光層5を構成する島状結晶12-1～12-5の大きさを任意に制御し、一定の広がりをもつように形成することにより、各島状結晶からの発光波長を任意に制御することができ、発光層5全体として任意の色度の光を生成及び発光させることができる。

【0038】 具体的には、島状結晶12-1～12-5の底面の直径を5nm～30nmの大きさで分布させることにより、島状結晶のそれぞれが任意の波長の光を発するようになり、発光層5全体として白色光を生成することができる。

【0039】 前者のような分布をもつ島状結晶を形成するためには、上述したように、MOCVD法における、温度、V族供給原料／III族供給原料比、圧力などを適宜に調節することによって得ることができる。

【0040】 図3は、図2に示す発光層の変形例を示す図である。

図3に示す発光層5においては、発光層18を構成する基層18中に島状結晶13-1～13-5、14-1～14-5及び15-1～15-5が段状に形成されている。このように、島状結晶を多段に形成することにより、島状結晶の大きさに対する分布幅の自由度が増すため、各島状結晶の大きさ制御の自由度が増大して、広範囲の色度の光を簡易に生成及び発光させることができる。

【0041】 具体的には、島状結晶13-1～13-5の底面における平均直径と、島状結晶14-1～14-5の底面における平均直径と、島状結晶15-1～15-5の底面における平均直径とを、5nm～30nmの大きさで分布させることにより、各段に位置する複数の島状結晶毎に任意波長の光を発するようになるため、発光層5全体として白色光を生成することができる。

【0042】 上記のような分布をもつ島状結晶を形成するためには、上述したように、MOCVD法における、温度、V族供給原料／III族供給原料比、圧力などを適宜に調節することによって得ることができる。

【0043】 また、図3に示すような発光層5において、各段に位置する島状結

晶 1 3 - 1 ~ 1 3 - 5 などを、それらの大きさが一定の広がりをもつように分布させることによって、図 2 において説明したように、任意の色度の光を生成させることができる。

【 0 0 4 4 】なお、この際においては、図 2 において説明した方法に準ずることによって、各段毎に白色の光を生成することができ、これによって発光層 5 全体として白色光を生成及び発光させることができる。

【 0 0 4 5 】第 1 の窒化物半導体からなる下地層を比較的厚く形成した場合においては、この下地層に対して第 2 の窒化物半導体からなる第 1 の導電層からの引張応力が增大して前記下地層にクラックが発生してしまう場合がある。

【 0 0 4 6 】このため、特に下地層の厚さがクラックが入る程度まで厚く形成された場合については、本発明の半導体発光素子の下地層を構成する第 1 の窒化物半導体は、その成分として含まれる A l の含有量が、基板側から第 1 の導電層に向かって連続的又はステップ状に減少していることが好ましい。これによって、下地層の、第 1 の導電層に対する近傍における A l 含有量が減少し、この近傍部分と第 1 の導電層との A l 含有量の差が減少する。

【 0 0 4 7 】したがって、下地層と第 1 の導電層との界面における格子定数差が減少するため、上記のように下地層の厚さが増大してもクラックの発生を効果的に防止することができる。

なお、上記 A l 含有量の変化の度合いは、下地層中におけるクラックの発生を防止すべく任意に設定することができる。

【 0 0 4 8 】なお、本発明における窒化物半導体は、A l、G a、及びI nの少なくとも一つを含むことが必要であるが、必要に応じてM g、S i、又はBなどの元素を含有することもできる。そして、第 1 の窒化物半導体から第 7 の窒化物半導体は、各層のバンドギャップなどを考慮して上記要件を満足する範囲内で任意の組成を有することができる。

また、基板としては、サファイア基板、S i C基板、S i基板、及びG a N基板などを使用することができる。

【 0 0 4 9 】また、図 1 に示すような本発明の半導体発光素子は、下地層、第 1 の導電層、及び発光層について上述した要件を満足する限りにおいて、通常の方

法にしたがって製造することができる。

【0050】

【実施例】

2インチ径の厚さ500 μm のサファイア基板を $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ で前処理した後、MOCVD装置の中に設置した。MOCVD装置には、ガス系として H_2 、 N_2 、TMA、TMI、TMG、 Cp_2Mg 、 NH_3 、 SiH_4 が取り付けられている。 H_2 を流速10 m/sec で流しながら、基板を1200 $^{\circ}\text{C}$ まで昇温した後、TMAと NH_3 を平均流速10 m/sec で流して、下地層としてのAlN層を厚さ1 μm まで成長させた。このAlN層のX線回折ロッキングカーブの半値幅は90秒で、良質のAlN層ができることがわかった。

【0051】次いで、成長させたAlN層を保護するために、TMGと NH_3 を平均流速10 m/sec で流して、GaN膜を厚さ100 \AA 成長させた。成長終了後、AlN層とGaN膜のついた基板を取り出し、これをMBE装置の中に設置した。

【0052】MBE装置の固体源としては、7NのGa、7NのIn、6NのAl、窒素源としては、SVTA社の高周波プラズマ装置により発生した原子状窒素を用いた。また、ドーパント源としては、n型のためのSiとp型のためのMgの固体源を設けた。

【0053】まず、基板を900 $^{\circ}\text{C}$ まで加熱した後、 H_2 と NH_3 を流すことにより保護層となっていたGaN膜を除去した。その後、基板を1000 $^{\circ}\text{C}$ まで加熱して30分保持することにより表面の平坦化をした後、第1の導電層として750 $^{\circ}\text{C}$ でSiをドーパしたn-AlGaN層を厚さ1 μm 成長させた。

【0054】次いで、このn-AlGaN層上に、第1のクラッド層として760 $^{\circ}\text{C}$ でSiをドーパしたn-Al_{0.2}Ga_{0.8}N層を厚さ1000 \AA に成長させた。その後、この上に発光層を構成する島状結晶を、700 $^{\circ}\text{C}$ でIn_{0.1}Ga_{0.9}Nから厚さ100 \AA 、平均直径100 \AA で成長させた。その後、発光層を構成する基層を、前記孤立した島状結晶を埋め込むように、GaN層を750 $^{\circ}\text{C}$ で厚さ200 \AA で成長させた。

【0055】次いで、GaN層上に第2のクラッド層として、780 $^{\circ}\text{C}$ でMgを

ドーピングした $p\text{-Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層を厚さ 50 Å 成長させ、最後に第 2 の導電層として 780℃ で Mg をドーピングした $p\text{-Ga}\text{N}$ 層を厚さ 2000 Å 成長させた。

【0056】成長終了後、上記のようにして形成した多層膜の一部を第 1 の導電層が露出するまで除去し、第 2 の導電層としての $p\text{-Ga}\text{N}$ 層上に Au/Ni からなる p - 電極を形成し、露出した第 1 の導電層としての $n\text{-Ga}\text{N}$ 層の表面上に Al/Ti からなる n - 電極を形成した。

【0057】その後、前記 p - 電極及び前記 n - 電極間に電圧 3.5V を印加し、電流 20 mA を流したところ、高効率の青色発光を確認した。すなわち、本発明の半導体発光素子が実用的な素子として動作できることが確かめられた。したがって、上記島状結晶の大きさの分布を適宜調節することにより、白色発光することが可能な半導体発光素子を提供できることが分かる。

【0058】以上、具体例を挙げながら、本発明を発明の実施の形態に即して詳細に説明してきたが、本発明は上記内容に限定されるものではなく、本発明の範疇を逸脱しない限りにおいてあらゆる変形や変更が可能である。

【0059】例えば、図 1 に示す半導体発光素子及び実施例に示す半導体発光素子においては、発光層 5 を中心として下側の層を n 型とし、上側の層を p 型としているが、両者を逆転させて形成することもできる。

【0060】また、図 3 においては、島状結晶を 3 段に形成しているが、2 段あるいは 4 段以上に形成することもできる。

【0061】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明の半導体発光素子は、発光層を窒化物半導体からなる互いに孤立した複数の島状結晶から構成するとともに、下地層を高結晶窒化物半導体から構成している。したがって、前記複数の島状結晶の結晶性を向上させることができ、上記のような複数の島状結晶からなる発光層を具える半導体発光素子の発光効率を増大させることができる。

【0062】このため、このような発光層を具える実用的な半導体発光素子を提供することができ、前記複数の島状結晶の大きさを適当な分布を持って形成することにより、実用に足る白色発光の半導体発光素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の半導体発光素子の一例を示す断面図である。

【図 2】 本発明の半導体発光素子における発光層部分を拡大して示す図である。

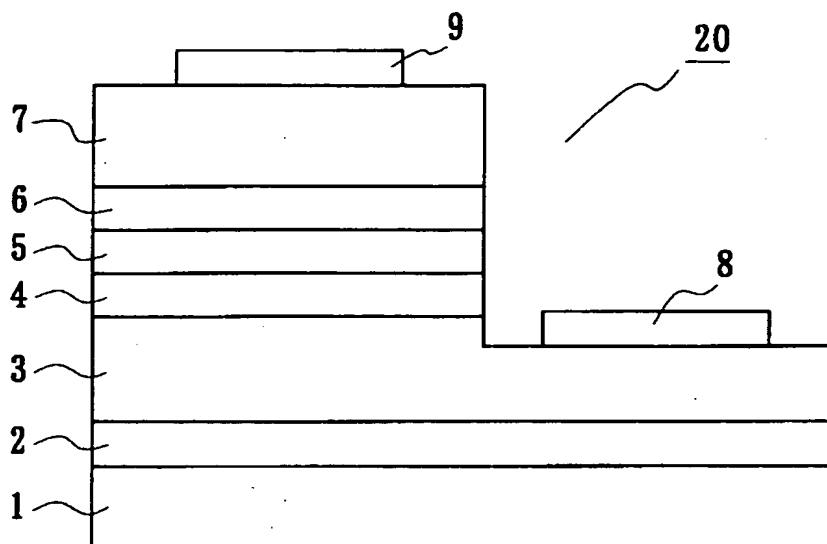
【図 3】 本発明の半導体発光素子における発光層部分の他の例を拡大して示す図である。

【符号の説明】

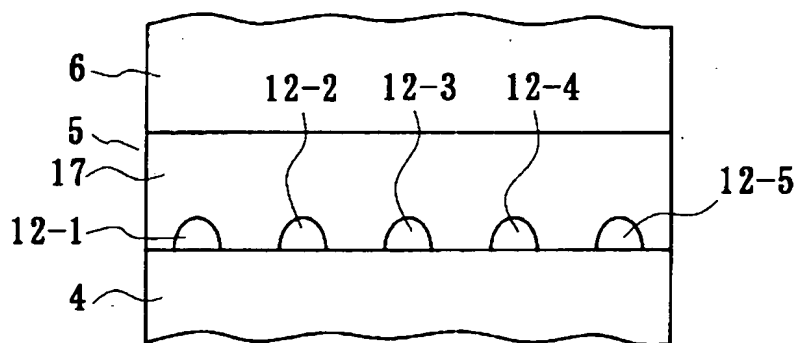
1 基板、2 下地層、3 第1の導電層、4 第1のクラッド層、5 発光層、6 第2のクラッド層、7 第2の導電層、8, 9 電極、12-1~12-5, 13-1~13-5, 14-1~14-5, 15-1~15-5 島状結晶、17, 18 基層、20 半導体発光素子

【書類名】 図面

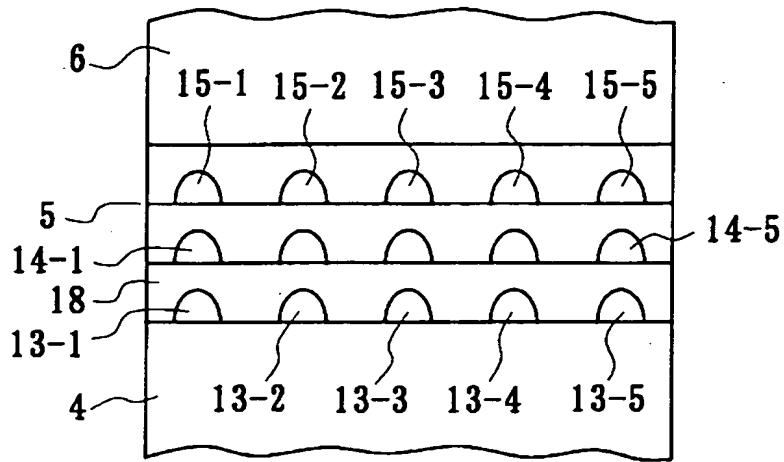
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 転位密度の大小に関係なく、白色LEDとして好適に使用することが可能な新規な半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 半導体発光素子20を構成する下地層2を、X線ロッキングカーブにおける半値幅が90秒以下の高結晶AlN層から構成し、第1のクラッド層4をn-AlGaInNから構成する。また、発光層5をi-GaNからなる基層17と、この基層中に、互いに孤立するようにして形成されたi-AlGaInNからなる島状結晶12-1～12-5とから構成する。

【選択図】 図2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004064]

| | |
|----------|--------------------|
| 1. 変更年月日 | 1990年 8月24日 |
| [変更理由] | 新規登録 |
| 住 所 | 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 |
| 氏 名 | 日本碍子株式会社 |